

# MODELOS ESPAÇO-TEMPORAIS MULTI-ESCALA

**Adelmo Inácio Bertolde**

Tese de Doutorado submetida ao programa de Pós-Graduação em Estatística do Instituto de Matemática da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como requisito necessário à obtenção do título de Doutor em Estatística.

Orientador: **Marco Antonio Rosa Ferreira**

Rio de Janeiro

Dezembro, 2007

# MODELOS ESPAÇO-TEMPORAIS MULTI-ESCALA

Aluno: **Adelmo Inácio Bertolde**

Orientador: **Marco Antonio Rosa Ferreira**

Tese de Doutorado submetida à banca examinadora do programa de Pós-graduação em Estatística do Instituto de Matemática da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como requisito necessário à obtenção do título de Doutor em Estatística.

Aprovada por:

---

Prof. Marco Antonio Rosa Ferreira

---

Prof. Dani Gamerman

---

Prof. Helio dos Santos Migon

---

Prof. Glaura da Conceição Franco

---

Prof. Ricardo Sandes Ehlers

Rio de Janeiro

Dezembro, 2007

## Resumo

Este texto apresenta uma proposta de modelagem espaço-temporal multi-escala para dados de área. Tal modelo pode ser útil em diversas aplicações tais como em análise ambiental, economia, agricultura e etc.. Fazemos uso da metodologia multi-escala desenvolvida por Kolaczyk e Huang (2001) e decomposos o processo espacial a cada tempo. Modelamos os coeficientes multi-escala ao longo do tempo através de modelos dinâmicos. São realizadas duas aplicações do modelo a dados sócio-econômicos do estado do Espírito Santo, Brasil. Os resultados indicam que o modelo capta bem os movimentos espaço-temporais das séries estudadas.

**Palavras chaves:** Modelos multi-escala; Inferência Bayesiana; Modelagem espaço-temporal; Dados de área; Resoluções múltiplas.

## Abstract

This text presents a multiscale modeling approach for space-time for areal data. Such model may be useful in diverse applications such as in environments, economic, agriculture and others. An uses of the methodology becomes multiscale developed for Kolaczyk and Huang (2001) and we decompose the space process at each time. We modeled the multiscale coefficients along the time through dinamic models. The model was applied two socio-economic the data of the state of the Espirito Santo, Brazil. The results indicate that the model captures well the space-time movements of the studied series.

**Keywords:** Multiscale models; Bayesian Inference; Space-time modeling; areal data; Multiple resolutions.

## Agradecimentos

Inicialmente agradeço à Deus pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional, tendo como cenário a linda cidade do Rio de Janeiro, obra prima da natureza.

Várias pessoas colaboraram na realização desse trabalho. Agradeço especialmente ao meu orientador Marco Antonio, que me estimulou, me corrigiu e me proporcionou toda a estrutura para que eu pudesse realizar as tarefas de forma organizada, não apenas como o grande profissional que é, mas também como um grande amigo. À minha esposa Tereza Cristina pelo apoio constante, companheirismo e também pelo seu incentivo nos meus momentos de desânimo. A todos os meus amigos e colegas de curso, particularmente Valmária, Marcelo, Laninha, Juan e Esther. Foram muitas horas de estudo, de sacrifício mas também de muita diversão, aprendizado de vida e trocas de experiências. Agradeço aos professores da pós-graduação do DME pela dedicação e interesse no aprendizado dos alunos. Ao Departamento de Estatística da UFES, à Faperj, à CAPES e ao DME pelo suporte financeiro e oportunidade de aperfeiçoamento acadêmico.

Finalmente, gostaria de dedicar esse trabalho aos meus pais Gabriel e Gicelda, que mesmo sendo pouco alfabetizados sempre me incentivaram nos estudos. Os difíceis, porém, saudosos anos em que lavrei a terra com minha família estão firmemente marcados na minha memória, e me dão a certeza de que é possível a realização dos nossos sonhos, por mais inalcançáveis que possam parecer.

Encerro com uma mensagem que resume um pouco da experiência vivida nos últimos anos:

”Há muito tempo que eu saí de casa. Há muito tempo que eu caí na estrada. Há muito tempo que eu estou na vida. Foi assim que eu quis, e assim eu sou feliz.

Principalmente por poder voltar a todos os lugares onde já cheguei. Pois lá deixei um prato de comida, um abraço amigo, um canto prá dormir e sonhar.

E aprendi que se depende sempre de tanta muita diferente gente. Toda pessoa sempre é as marcas das lições diárias de outras tantas pessoas.

E é tão bonito quando a gente entende que a gente é tanta gente onde quer que a gente vá.

E é tão bonito quando a gente sente que nunca está sozinho por mais que a gente pense estar.

E é tão bonito quando a gente pisa firme nessas linhas que estão nas palmas de nossas mãos.

E é tão bonito quando a gente vai a vida nos caminhos onde bate mais forte o coração.”

Caminhos do Coração (Gonzaguinha)

# Sumário

<b>Lista de Tabelas</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>x</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Modelagem Multi-escala</b>	<b>4</b>
2.1 Introdução . . . . .	4
2.2 Estrutura Espacial . . . . .	5
2.3 Verossimilhança Fatorizada . . . . .	7
2.4 Distribuições a Priori . . . . .	9
2.5 Estimação . . . . .	10
2.5.1 Estimação do Elemento Excluído . . . . .	11
2.6 Aplicações . . . . .	12
2.6.1 Aplicação a Dados Simulados . . . . .	12
2.6.2 Aplicação ao PIB do Espírito Santo . . . . .	14
<b>3 Modelos Lineares Dinâmicos</b>	<b>20</b>
3.1 Introdução . . . . .	20
3.2 Modelo Linear Dinâmico . . . . .	21
3.3 O Filtro de Kalman . . . . .	22
3.4 Princípios de Inferência Bayesiana . . . . .	24

3.5	Simulação de Monte Carlo Via Cadeias de Markov . . . . .	26
3.5.1	Diagnósticos de Convergência . . . . .	27
3.6	Estimação com Variâncias Desconhecidas . . . . .	28
3.6.1	Distribuições a Priori . . . . .	28
3.6.2	Distribuições a Posteriori . . . . .	29
3.6.3	Simulação de $\boldsymbol{\mu}_{1:T}$ Via FFBS . . . . .	29
3.6.4	Simulação de $V$ e $W$ . . . . .	31
<b>4</b>	<b>Modelagem Espaço-Temporal Multi-Escala</b>	<b>33</b>
4.1	Introdução e Notação . . . . .	33
4.2	Modelo Geral . . . . .	36
4.3	Um Exemplo Didático . . . . .	37
<b>5</b>	<b>Modelagem Espaço-Temporal Multi-Escala Com Variâncias Obser-</b>	
	<b>vacionais Constantes</b>	<b>39</b>
5.1	Densidade Conjunta do Modelo . . . . .	40
5.2	Distribuições a Priori . . . . .	44
5.3	Simulação e Estimação de $\mu_{0,k,t}$ . . . . .	45
5.3.1	Distribuições a Posteriori . . . . .	45
5.4	Simulação e Estimação de $\boldsymbol{\theta}_{j,k,t}$ . . . . .	48
5.4.1	Distribuições a Posteriori . . . . .	48
5.5	Estimação de $\boldsymbol{\mu}_{J-1,t}$ . . . . .	52
5.6	Simulação de Um Processo Multi-Escala . . . . .	53
5.7	Casos Particulares . . . . .	54
5.7.1	Variâncias Conhecidas . . . . .	55
5.7.2	Variância de Sistema Desconhecida . . . . .	58
5.8	Aplicação aos Dados de PIB <i>per capita</i> . . . . .	59

<b>6</b>	<b>Modelagem Espaço-Temporal Multi-Escala com Variâncias Observacionais Distintas</b>	<b>72</b>
6.1	Construção do Modelo . . . . .	72
6.2	Densidade Conjunta do Modelo . . . . .	74
6.3	Distribuições a Priori . . . . .	75
6.4	Simulação e Estimação de $\mu_{0,k,t}$ . . . . .	75
6.4.1	Distribuições a Posteriori . . . . .	75
6.5	Simulação e Estimação de $\theta_{j,k,t}$ . . . . .	76
6.5.1	Distribuições a Posteriori . . . . .	76
6.5.2	Simulação e Estimação de $\sigma^2$ . . . . .	77
6.6	Aplicação aos Dados de Produção Agrícola . . . . .	77
<b>7</b>	<b>Conclusões</b>	<b>88</b>
7.1	Meta . . . . .	89
	<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>90</b>
<b>A</b>	<b>Algumas Propriedades da Distribuição Normal Multivariada</b>	<b>93</b>
<b>B</b>	<b>Descrição Multi-Escala Para o Caso Normal</b>	<b>95</b>
<b>C</b>	<b>Banco de Dados</b>	<b>98</b>
C.1	Dados Sócio-Econômicos . . . . .	98
C.2	Estrutura de Partição . . . . .	99



# Lista de Tabelas

5.1	Estatísticas a posteriori para $\psi_{1,k}$ . . . . .	59
5.2	Estatísticas a posteriori para $\psi_k$ . . . . .	62
5.3	Estatísticas a posteriori para $\psi_{0,k}$ . . . . .	63
5.4	Estatísticas a posteriori para $\psi_{1,k}$ . . . . .	63
6.1	Estatísticas a posteriori para $\psi_k$ . . . . .	79
6.2	Estatísticas a posteriori para $\psi_{0,k}$ . . . . .	79
6.3	Estatísticas a posteriori para $\psi_{1,k}$ . . . . .	80

# Lista de Figuras

1.1	Divisão político administrativa do estado do Espírito Santo por municípios (a), micro-regiões (b) e macro-regiões (c) (ano base 1979). . . . .	2
2.1	Processo multi-escala representado do nível $j = 0$ mais agregado (a) até o nível $j = 2$ mais desagregado (c), considerando 4 descendentes para cada ancestral. . .	5
2.2	Função $(2x+10)$ . Nível médio (linha), simulações (círculos) e estimativas (linha pontilhada) . . . . .	13
2.3	Função $\text{Seno}(x)$ . Nível médio (linha), simulações (círculos) e estimativas (linha pontilhada) . . . . .	14
2.4	Função $x^2$ . Nível médio (linha), simulações (círculos) e estimativas (linha pontilhada) . . . . .	14
2.5	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 1970 . . . . .	15
2.6	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 1980 . . . . .	16
2.7	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 1985 . . . . .	16
2.8	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 1996 . . . . .	17
2.9	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 1999 . . . . .	17
2.10	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 2000 . . . . .	18
2.11	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 2001 . . . . .	18
2.12	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 2002 . . . . .	19
2.13	Log do PIB <i>per capita</i> do E.S. - 2003 . . . . .	19

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

